



Informe técnico

Dipl. Ing. Paul Köberlein, Bosch Industriekessel GmbH



BOSCH

Innovación para tu vida

Cargas evitables en sistemas con calderas de vapor de gran volumen de agua

Las calderas de vapor están sometidas a toda una serie de cargas y solicitudes que pueden exponer el cuerpo de la caldera a esfuerzos más o menos intensos. Además de la calidad insuficiente del agua son decisivos los siguientes dos factores principales: las influencias debidas al diseño y al ajuste, así como las influencias de parte de los consumidores. El siguiente artículo describe las cargas evitables en sistemas de calderas para que el lector pueda formarse una idea de cómo deben realizarse correctamente la planificación, la ejecución y el ajuste, así como el servicio de dichos sistemas.

Multitud de empresas comerciales e industriales de todos los sectores utilizan hoy en día vapor saturado como medio calefactor. En la industria alimenticia y de bebidas, este medio es empleado para los procesos de calentamiento y cocimiento, y también para los procesos de limpieza. La industria textil aprovecha el medio calefactor en primer lugar para el tratamiento y ennoblecimiento de materias textiles, y las lavanderías y tintorerías calientan sus lavadoras o utilizan el vapor para alisar y secar los productos de sus clientes. En hospitales se trabaja con vapor extrapuro para esterilizar el instrumental quirúrgico, la gran cocina asociada recibe igualmente vapor, y éste se emplea a la vez para humectar el aire de la instalación de aire acondicionado. La industria de materiales de construcción necesita vapor saturado para muchos procesos industriales de calentamiento y secado, por ejemplo, para endurecer ladrillos silicocalcáreos con el tratamiento en autoclave. Pero también en muchos otros sectores industriales es imprescindible el vapor como medio calefactor, tales como las industrias cartonera y papelera, la industria química, la industria farmacéutica y muchas otras más.

La mayor parte de estas aplicaciones requiere vapor saturado o vapor ligeramente sobrecalentado como medio, con potencias de hasta 200 t/h, presiones hasta 30 bares y vapor con temperaturas hasta 300 °C. Para generar vapor se emplean normalmente una o varias calderas de vapor con quemadores de gas o de fuelóleo en diseño de calderas de gran volumen de agua (Ilustración 1). En comparación con los sistemas con calderas acuotubulares, los aquí expuestos suelen ser mejor en el rango de potencias indicado, ya que ofrecen una solución que resulta más económica, tanto con respecto a los gastos de adquisición, como con respecto a los gastos operativos.

Hoy en día, el servicio de sistemas de calderas de vapor de gran volumen de agua transcurre prácticamente sin problemas. No obstante, las calderas están sometidas con frecuencia a toda una serie de cargas evitables, que ejercen efectos decisivos sobre la seguridad y la vida útil de los generadores de energía. Además de la calidad insuficiente del agua son determinantes los siguientes dos factores principales: las influencias debidas al diseño y ajuste, así como las influencias de parte de los consumidores.

Calidad insuficiente del agua

La calidad insuficiente del agua, con efectos como corrosión o formación de sedimentos, ocupa el primer lugar en las estadísticas de averías. Los mecanismos que tienen lugar con esta categoría de averías son generalmente conocidos, y por eso no nos dedicaremos a exponer sus detalles en este informe. Muchas veces, la „mala“ calidad del agua se debe a las siguientes causas:

- ▶ vigilancia o control insuficiente de los parámetros prescritos del agua (Ilustración 2)
- ▶ falta de conocimientos técnicos
- ▶ interpretación errónea de los valores de medida, u omisión de una reacción adecuada en caso de divergencias

Para evitar daños por calidad insuficiente del agua, en primer lugar será necesario observar los valores del agua especificados por el fabricante de la caldera (conforme a la norma EN 12953, Parte 10). Además de emplear los componentes adecuados para el tratamiento de aguas, otro criterio importante consiste en disponer de suficiente competencia en la materia de análisis de agua. Se recomienda instalar aparatos de análisis totalmente automáticos que registren y controlen todos los parámetros del agua, tales como la dureza, la conductividad, el valor pH y la pureza del condensado (Ilustración 3) – véase el informe especializado „Modernos equipos de tratamiento y análisis de agua para sistemas“.



Ilustración 1: Caldera de vapor de gran volumen de agua en una empresa industrial



Ilustración 2: Consecuencias del control insuficiente de la dureza

Efectos debidos al diseño y al ajuste

Potencia de la caldera excesiva en proporción al rendimiento de vapor necesario

En sistemas existentes nos vemos con frecuencia ante este problema, cuando el consumo de vapor de estos sistemas se ha reducido drásticamente porque se han eliminado algunos consumidores o porque el usuario del sistema ha empezado a aprovechar las posibilidades de recuperación de calor en una fase posterior a la puesta en marcha inicial. Pero también en sistemas nuevos puede presentarse dicho problema, si durante la planificación no se valoraron correctamente los factores de simultaneidad de los consumidores, o si en el diseño se dimensionaron reservas de potencia excesivas. La consecuencia de una toma o descarga de vapor insuficiente con respecto a la potencia de la caldera es un número elevado de arranques y paradas de los quemadores. Éstos provocan cambios de temperatura que pueden llegar a ser extremadamente elevados, sobre todo en sistemas de calderas con quemadores de gas con tiempos de preventilación prolongados.

Los quemadores generan temperaturas entre 1400 y 1700 °C en el hogar. Durante la fase de preventilación del hogar, que es obligatoria antes de cada proceso de encendido del quemador, se aspira aire fresco de la sala de caldera. Debido a las bajas temperaturas del aire, que se sitúan en el rango de 20 a 30 °C, se enfrían las superficies de calefacción que antes habían estado calientes. A continuación se enciende el quemador, y normalmente recibirá muy pronto la señal para pasar al nivel de carga máxima. En extremadas fases de carga baja, el quemador muchas veces ya se vuelve a desconectar durante el arranque, para volver a ser preventilado y encendido al cabo de poco tiempo.

Estas continuas solicitaciones, condicionadas por los cambios entre las temperaturas de calentamiento y ventilación, provocan diferencias de expansión entre el hogar y la envolvente de la caldera que, con el tiempo, llevan a una fatiga del material. Además de la creciente susceptibilidad a daños, este modo de servicio repercute negativamente sobre la rentabilidad, pues cada proceso de preventilación representa una pérdida calorífica considerable.

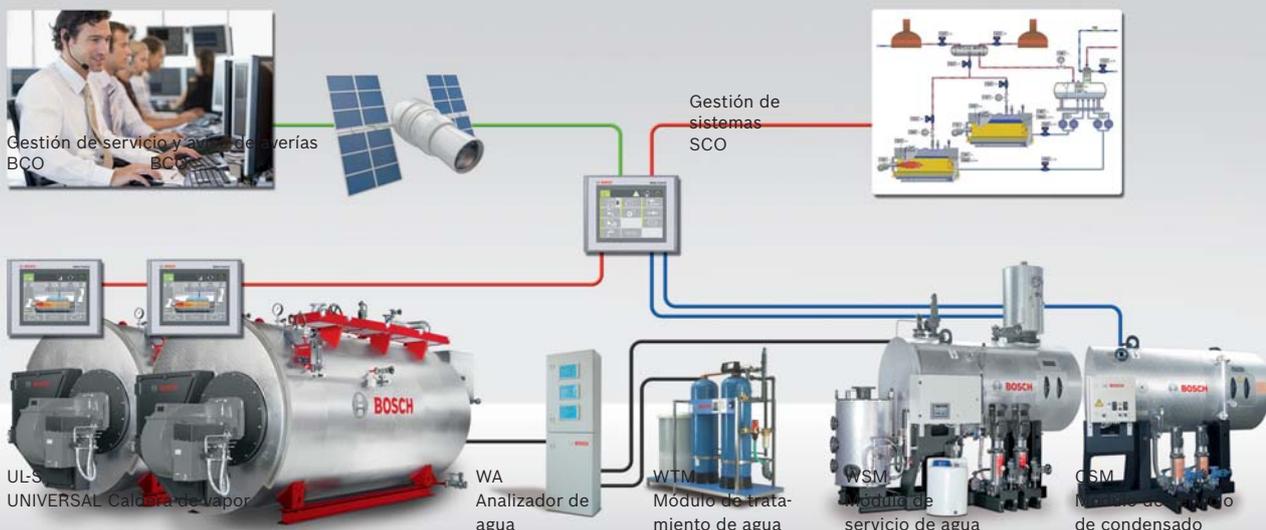
Por eso hay que cuidar de obtener ciclos de encendido de ≤ 4 por hora en los quemadores. Para lograrlo recomendamos:

- ▶ instalar dispositivos de control de carga baja que retarden el aumento inmediato de la carga después del arranque del quemador
- ▶ aplicar reguladores de potencia que permitan mantener el quemador en funcionamiento de carga pequeña por tiempo ilimitado
- ▶ aplicar quemadores con un rango de regulación elevado
- ▶ adaptar el rendimiento del quemador o de los quemadores a las circunstancias reales (es decir, adaptar el/los quemadores adecuadamente o instalar un quemador con una gama de potencia más baja)

Ilustración 3: Un sistema moderno de calderas de vapor con control y análisis de agua totalmente automáticos

teleservicio

sistema de control de operaciones



Diferencia de presión insuficiente entre el encendido y el apagado del quemador

Como es sabido, la regulación del rendimiento de la caldera de vapor se efectúa a través de la presión del vapor medida en la caldera. Si la presión se sitúa debajo del nivel de la presión del vapor ajustable $P_{\text{Quemador.Con}}$, entonces se solicita un quemador, mientras que al excederse el nivel de $P_{\text{Quemador.Descon}}$, el quemador se apaga.

El ajuste insuficiente de la diferencia entre $P_{\text{Quemador.Con}}$ y $P_{\text{Quemador.Descon}}$ tiene los siguientes efectos:

- ▶ Frecuentes encendidos y apagados por rebase de la presión y, por lo tanto, solicitudes por cambios de temperatura según lo expuesto con todas sus consecuencias perjudiciales.
- ▶ Parámetros de regulación excesivamente „rápidos“ del regulador de potencia, para mantener el valor nominal en un rango de regulación limitado. Además del elevado desgaste de los actuadores del quemador, el resultado es una fatiga prematura de los materiales en las paredes calentadas

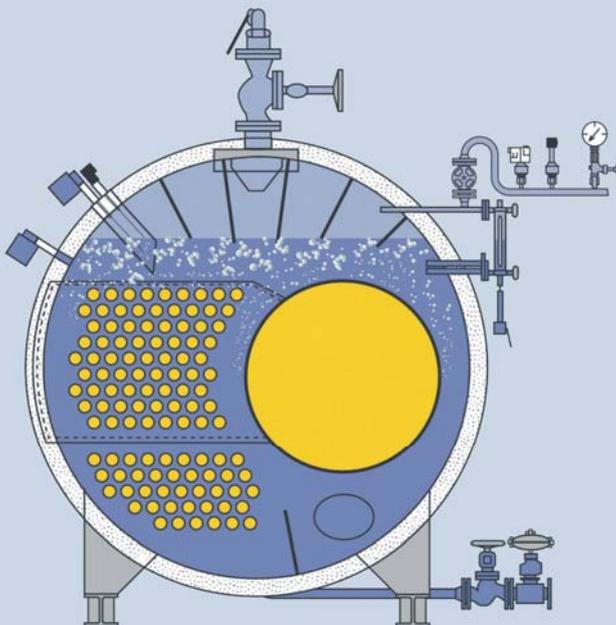
Por experiencia se sabe que estos problemas pueden evitarse de manera segura, ajustando la diferencia entre $P_{\text{Quemador.Con}}$ y $P_{\text{Quemador.Descon}}$ – en relación a la presión de aseguramiento de la caldera – en el rango del 10 al 15% (en función de la regulación del quemador y de la presión de trabajo de la caldera).

Velocidad excesivamente „rápida“ de los reguladores de potencia

Los modernos sistemas de gestión de combustión ofrecen la posibilidad de definir de forma variable el tiempo de ajuste del quemador, esto es, el intervalo entre los niveles de carga pequeña y carga grande del quemador. Al mismo tiempo, mediante los parámetros de regulación del regulador de potencia se puede tomar influencia sobre la velocidad de reacción del quemador a las discrepancias de los valores nominales. Las calderas de gran volumen de agua, con su elevada proporción de materiales y su gran volumen de agua, son un sistema cuya reacción es relativamente lenta. Los reguladores de potencia ajustados a una reacción demasiado „rápida“, eventualmente en combinación con tiempos de ajuste extremadamente cortos del quemador, provocan un aporte de calor en el hogar que crece rápidamente. La disipación del calor aportado a la zona del agua se efectúa en primer lugar a través de las burbujas de vapor, las que se forman y ascienden a la cámara de vapor (Ilustración 4). Sin embargo, esta formación de burbujas de vapor se produce con cierto desfase de tiempo. El resultado son breves calentamientos excesivos locales, y además solicitudes adicionales por cambios de temperatura, que a la larga aceleran la fatiga del material en la zona de las paredes calentadas de la caldera.

Se recomienda encarecidamente encargar a personal especializado la puesta en marcha con el ajuste de los quemadores y de los parámetros de regulación.

Ilustración 4: Esquema de la disipación del calor en las superficies de calefacción sometidas a altas cargas mediante las burbujas de vapor



Ausencia de un concepto de control de secuencia en sistemas de calderas múltiples

El personal de servicio juega un papel importante cuando los sistemas de calderas múltiples no están equipados con un control automático para las calderas en secuencia. En estos casos, el personal debe apagar las calderas cuando la toma de vapor ya no requiera que funcionen varias calderas. Si no lo hace, se producen los efectos mostrados en base al ejemplo del Diagrama. El registro muestra que el consumo de vapor necesario (azul) puede ser satisfecho durante todo el intervalo por la Caldera 1 sola (en rojo, con una potencia de 10 t/h). Es decir, que son totalmente inútiles las frecuentes conexiones de la Caldera 2 (en verde), que además tienen la desventaja de producir las solicitaciones por cambios de temperatura especificadas.

Además se reconoce muy bien la influencia mutua de ambas calderas una sobre otra. Mientras la Caldera 1 (en rojo) reduce su potencia, la Caldera 2 (en verde) aumenta la producción de vapor, y vice versa, es decir que las calderas trabajan “en modo antagónico” y se reprimen mutuamente. Además, en este caso ya no se disipa tampoco sin problemas el calor de las superficies de calefacción.

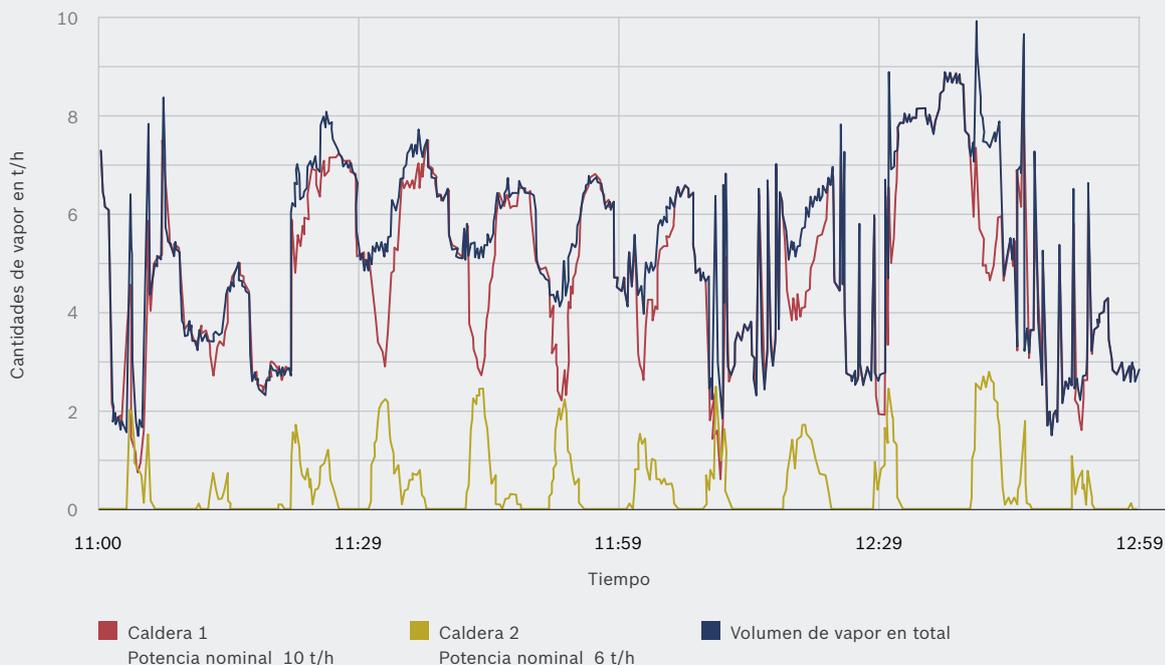
Por lo tanto es recomendable que incluso los sistemas con sólo dos generadores de vapor se diseñen con un control de calderas en secuencia; y, con tres o más calderas y una sala de calderas, resulta imprescindible equipar los sistemas con un control de calderas en secuencia.

El tipo de control de secuencia a aplicar (encendido y apagado de las calderas en función de volumen o presión) dependerá, por una parte, del número de calderas y, por otra parte, de las variaciones de presión que sean soportables en el lado de los consumidores. Un control de secuencia en función del volumen de vapor permite mantener el rango de las variaciones de presión realizables en niveles notablemente inferiores.

Además debe tenerse en cuenta que:

- ▶ Los generadores de vapor de sistemas de calderas múltiples han de desacoplarse a nivel hidráulico, para evitar que influyan unos sobre otros (mediante válvulas de retención, por ejemplo).
- ▶ Ya durante la fase de planificación debería considerarse que las calderas en secuencia han de equiparse con un serpentín calefactor, para evitar que durante la fase de mantenimiento de temperatura se formen capas de temperatura en el agua de la caldera.

Diagrama: Registro del rendimiento de vapor en un sistema de calderas con 2 generadores de vapor sin control de calderas en secuencia



Influencias de parte de los consumidores

Frecuentes arranques desde el estado frío

El arranque desde el estado frío constituye la mayor sollicitación mecánica a que está expuesto el cuerpo de la caldera. (Véase „Arranque en frío de calderas de gran volumen de agua“). La razón consiste en la diferencia de temperatura entre el hogar y la envolvente de la caldera durante el arranque en frío, que es mayor que la diferencia de temperatura en el funcionamiento controlado a temperatura de servicio. El empuje del hogar (diferencia entre el cambio de longitud de la envolvente de la caldera y el hogar) es más elevado durante el proceso de arranque, lo que incrementa notablemente las sollicitaciones adicionales que ha de compensar el cuerpo de la caldera. Esta sollicitación llega a ser aún mayor, si durante la rutina de arranque no se pueden formar burbujas de vapor, o si se forman sólo muy pocas burbujas, lo que sucede por ejemplo cuando está cerrada la válvula de toma de vapor. Entonces tampoco arranca la circulación natural que normalmente se produce en la caldera de vapor (Ilustración 5). El resultado son capas de diferente temperatura en la caldera (abajo frío, arriba caliente), con tensiones térmicas adicionales. En caso de arranques en frío muy frecuentes, estas extremadas sollicitaciones pueden provocar fisuras superficiales en el material o, en el peor de los casos, el fallo total del sistema.

Para reducir la carga de arranque deben observarse los aspectos siguientes:

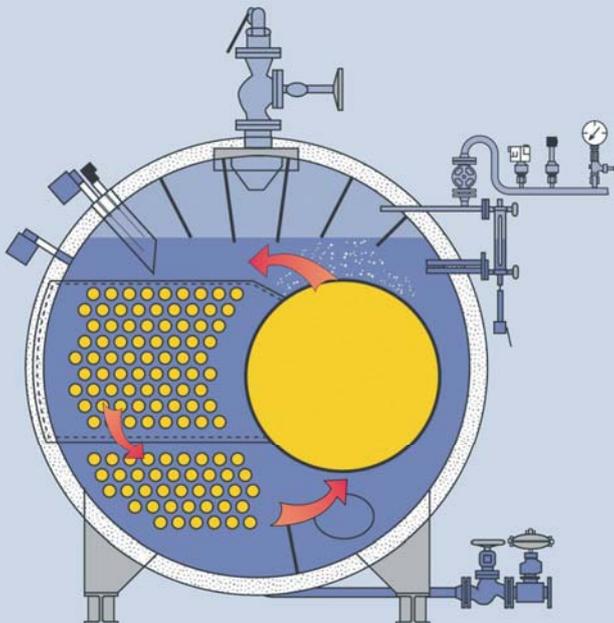
- ▶ arranque desde el estado frío hasta alcanzar la temperatura de servicio, con la carga más baja posible del quemador

- ▶ durante el proceso de arranque debería poder salir continuamente una pequeña cantidad de vapor para que pueda arrancar la circulación natural por el empuje vertical de las burbujas
- ▶ lo ideal sería equipar los sistemas con una conexión de arranque automática que, en función de la temperatura del agua y de la presión, regule el servicio del quemador y la descarga de tal forma, que las sollicitaciones queden reducidas al mínimo posible.

Períodos prolongados en modo standby

Durante la fase de mantenimiento de temperatura o de standby (por ejemplo, si en un sistema con varias calderas no se necesita la caldera en secuencia), en la respectiva caldera está interrumpida totalmente la salida de vapor. Según el concepto de control, en este caso se cierra la válvula de toma de vapor, o en la caldera en secuencia se reduce la presión a una presión inferior a la presión existente en la red. En este modo de funcionamiento, los quemadores sólo se conectan esporádicamente para compensar las pérdidas producidas por conducción y radiación térmica. Si este estado se mantiene durante un período prolongado (> 3 días), se empiezan a producir capas de distintas temperaturas en la caldera. Cuando las calderas con tal mantenimiento de temperatura vuelven a cambiar al modo de funcionamiento normal, la elevada presión de servicio simula la disponibilidad inmediata de una caldera (zona caliente superior). A continuación, en caso de demanda correspondiente, el control dispone para esta caldera una carga del quemador muy elevada, la que será aplicada en un tiempo muy corto. Condicionado por las distintas capas de temperatura en la caldera se presentan entonces las extremadas sollicitaciones por tensiones térmicas.

Ilustración 5: Esquema de la circulación natural que se produce en el interior de la caldera



Todo esto se puede remediar instalando serpentines de calefacción en el fondo de la caldera para mantener la temperatura en un nivel constante (Ilustración 6). El calentamiento del vapor de este serpentín de calefacción se realiza entonces por abajo, evitando de forma segura las capas de temperatura perjudiciales en la caldera. Sin embargo, esta variante de aplicación requiere un sistema de calderas múltiples o un sistema con abastecimiento seguro de vapor a partir de una fuente externa.

Variaciones de presión por intensas variaciones de la toma o descarga

En caso de intensas variaciones de la carga, es decir, cuando la carga cambia con gran velocidad y provoca variaciones de presión intensas, se pueden producir circulaciones inconvenientes en la caldera. Puede estancarse la formación de burbujas que es necesaria para eliminar el calor de las superficies de calefacción, o muchas burbujas pequeñas pueden formar burbujas de vapor grandes, las cuales no se desprenden lo suficientemente rápido de las superficies de calefacción, provocando calentamientos locales excesivos. Por esta razón, en sistemas de calderas que tengan que abastecer a consumidores con importantes variaciones en la descarga, se han de tomar prevenciones para limitar las variaciones de presión en la caldera con independencia de los consumidores. Esto se consigue, por ejemplo, con las medidas siguientes:

- ▶ aumentando la seguridad de la caldera en el lado de presión e integrando un equipo reductor de presión de vapor entre la caldera y los consumidores
- ▶ integrando un acumulador de vapor para puntas de carga
- ▶ mediante un control de presión colocado detrás de la caldera con válvula de toma de vapor regulada, para proteger la caldera contra caídas de presión demasiado bruscas

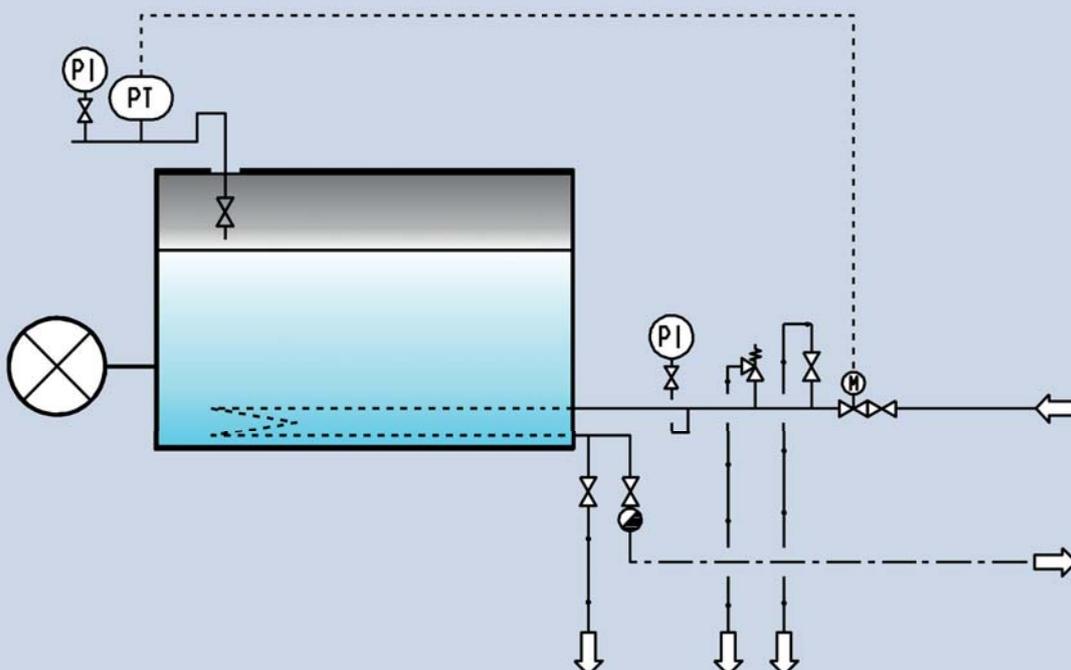
Resumen

Las causas evitables de las solicitaciones a que están sometidas las calderas, expuestas en el texto que precede, muestran que se trata de un ciclo temático muy complejo, que incluye materias tan diversas como la planificación, las labores de ejecución y el ajuste y funcionamiento de los sistemas. Es decir, que en este contexto resulta imposible tratar todos los problemas relevantes de la materia y sacar conclusiones definitivas al respecto.

Debido a la complejidad que presentan los sistemas de calderas de vapor, rogamos encarecidamente considerar los siguientes aspectos:

- ▶ La planificación de calderas de vapor debe ser efectuada exclusivamente por empresas especializadas competentes con experiencia, ya que así se evitan ya de antemano muchas de las posibles fuentes de errores.
- ▶ Es determinante la calidad de las calderas empleadas y de los quemadores y componentes empleados para salas de calderas, para asegurar el servicio fluido y correcto de un sistema.
- ▶ La correcta instalación del sistema requiere la intervención de un constructor competente de instalaciones industriales que conozca la interoperabilidad de los distintos componentes para salas de calderas.
- ▶ El modo de servicio y la asistencia técnica por el personal de servicio son dos factores de gran importancia que repercuten esencialmente en la vida útil del sistema de calderas de vapor.
- ▶ Siempre es una gran ventaja para el cliente disponer de un contrato de mantenimiento y teleservicio con el fabricante de la caldera.

Ilustración 6: Esquema de un serpentín calefactor regulado



Las instalaciones de producción:
Terrenos de la fábrica 1 Gunzenhausen
Bosch Industriekessel GmbH
Nürnberger Straße 73
91710 Gunzenhausen
Alemania

Terrenos de la fábrica 2 Schlungenhof
Bosch Industriekessel GmbH
Ansbacher Straße 44
91710 Gunzenhausen
Alemania

Terrenos de la fábrica 3 Bischofshofen
Bosch Industriekessel Austria GmbH
Haldenweg 7
5500 Bischofshofen
Austria

www.bosch-industrial.com

© Bosch Industriekessel GmbH | Las imágenes
son solo ejemplos | Se reservan modificaciones |
07/2012 | TT/SLI_sp_FB-Vermeidbare-DK_01